

УДК 621.771.075

М.В. КУДИН, канд. техн. наук,
Е.Б. ЛОЖЕЧНИКОВ, д-р техн. наук (БНТУ)

СТАН ДЛЯ ПРОКАТКИ С МНОГОСТОРОННИМ ОБЖАТИЕМ В ЧЕТЫРЕХВАЛКОВОМ КАЛИБРЕ

Прокатные станы с многосторонним обжатием представляют сложную громоздкую конструкцию, оправданную для крупнотоннажного производства полуфабрикатов и изделий обычно из труднодеформируемых, тугоплавких металлов и сплавов [1]. Для эксплуатации в условиях сравнительно малого предприятия, специализирующегося на переработке образующихся в Беларуси отходов и лома цветных металлов и сплавов, необходим прокатный стан, легко переналаживаемый на прокатку прутков разного по диаметру сечения, при этом малогабаритный и простой по конструкции.

Базируясь на опыте создания прокатных станов с многовалковым калибром для неметаллургических производств и на известных технических решениях [1], спроектирована цельноблочная конструкция стана с одним общим для всех валков приводом. Общие технологические требования к проектируемому стану – возможность прокатки круглых, квадратных и шестигранных заготовок диаметром от 10 до 50 мм из цветных металлов и сплавов как холодную, так и с нагревом заготовок, а также возможность правки длинномерных прутков.

Кинематическая схема спроектированного прокатного стана СП4В приведена на рисунке 1. Электродвигатель 1 со шкивом 2 ременной передачей ($u_{pm} = 3,6$) связан через ведомый шкив 3 с коробкой перемены передач 4 автомобиля ЗИЛ-157, имеющей пять передач ($u_{kp} = 0,939; 1,767; 3,084; 5,86; 7,326$). Коробка перемены передач упругой втулочно-пальцевой муфтой 5 (ГОСТ 21424-88) связана с цилиндрическим двухступенчатым редуктором 6 (1ЦУ-200Н-31,5), который в свою очередь связан муфтой 7 с ведущим валом 8 валковой кассеты полый деталью – валом с двумя фланцами. Первый фланец представляет полумуфту втулочно-пальцевой муфты, второй – жесткой кулачковой муфты 7. Четыре вала валковой кассеты, расположенные друг к другу под углом 90° , связаны между собой коническими передачами 9. На шлицах валов установлены

валки-диски с возможностью их свободного перемещения в осевом направлении.

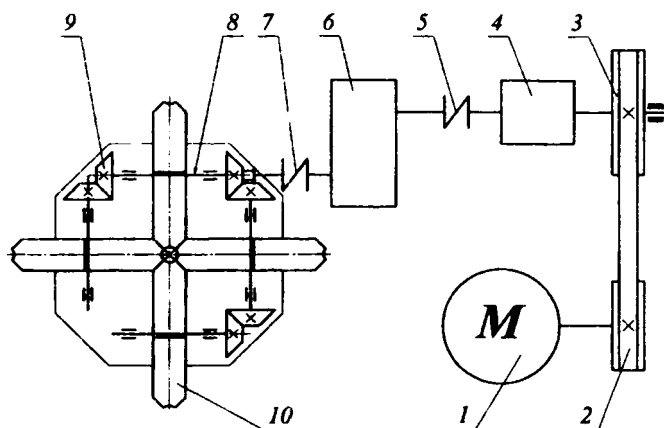


Рисунок 1 – Схема прокатного стана СП4В

Принятая кинематическая схема обеспечивает привод всех четырех валков с регулируемой частотой вращения от 8,08 об/мин ($0,13 \text{ с}^{-1}$) до 63,05 об/мин ($1,05 \text{ с}^{-1}$).

Узлы, передающие от электродвигателя валкам крутящий момент их привода, смонтированы на сваренной из швеллеров и толстых листов станине 1 (рис. 2). Электродвигатель 2 закреплен на поворотной платформе, фиксируемой шпилькой с гайками, что позволяет регулировать натяжение 4-х ремней 3 (Б-2800 ГОСТ 1284).

Для опоры ведущего вала коробки перемены передач 4 предусмотрен кронштейн 5 с подшипником качения, в отверстие которого посажена шейка вала. Коробка перемены передач плоскостью, которой она сопрягается с картером муфты сцепления автомобиля, посредством болтов прикреплена к сварному кронштейну 6, установленному на верхние продольные балки станины.

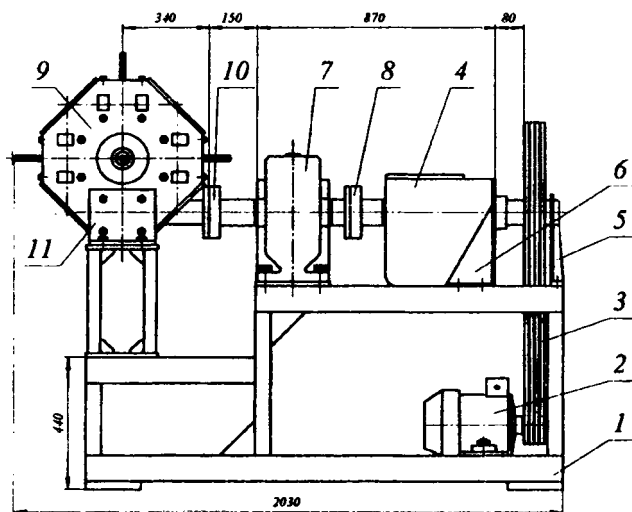


Рисунок 2 – Общий вид стана с многосторонним обжатием СП4В (ограждения не показаны)

Выходной вал коробки перемены передач соединен с валом редуктора 7 втулочно-пальцевой муфтой 8. Выходной вал двухступенчатого редуктора 7 соединен с валом валковой кассеты 9 промежуточной полый деталью. Валковая кассета 9 посредством двух сварных кронштейнов 11 закреплена на балках станины.

Особенность и оригинальность стана СП4В состоит в конструкции кассеты, совмещающей шестеренную и рабочую клетки обычного прокатного стана. Валковая кассета (рис. 3) состоит из двух стальных плит 1 толщиной 20 мм, в восемь прямоугольных отверстий которых посажены с натягом концы восьми балок 2. Торцы каждой балки стянуты с плитами болтами. В отверстия балок установлены втулки-подшипники 3 (бронза БрОФ10-1), в которые в свою очередь посажены ступицами шесть конических зубчатых колес 4 (40ХН; HRC38...40) и две концевые втулки 5. В шлицевые отверстия конических зубчатых колес 4 и втулок 5 установлены валы 6, фиксируемые торцевыми шайбами. На валах установлены валки-диски 7 со ступицами 8. Привод валков-дисков осуществляется через три конические зубчатые передачи от полый двойной по-

лумуфты 9, на одном конце которой выполнен фланец муфты редуктора, а на второй – кулачки, входящие в зацепление с кулачками, выполненными на торце ведущего конического колеса. Стягивание торца зубчатого колеса с кулачковой полумуфтой обеспечивается торцевой шайбой 11 посредством винта. Принятая конструкция валковой кассеты привода обеспечила разгрузку валов от действующих в зубчатых передачах усилий и равномерное разделение момента привода валков-дисков. Валки-диски с номинальным диаметром 400 мм (расстояние между осями параллельно расположенных валов) имеют образующий 0,25 калибра рабочий профиль и две фаски. По фаскам валки-диски сопрягаются между собой, образуя замкнутый профиль калибра.

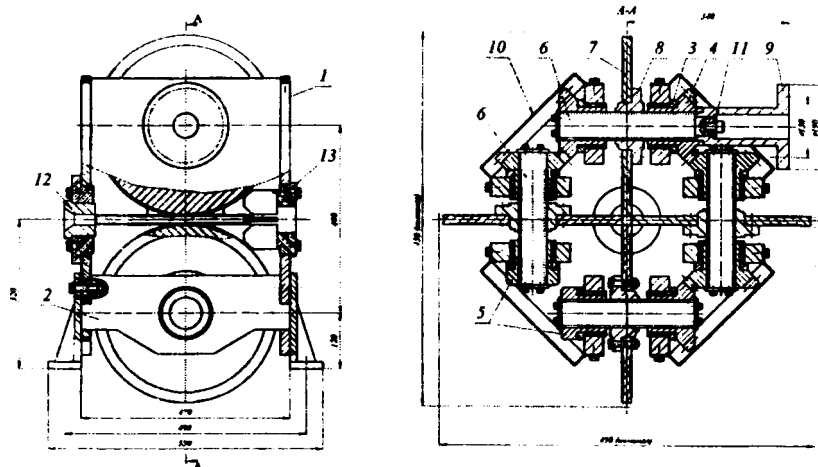


Рисунок 3 – Рабочая клетка стана с многосторонним обжатием

Краткая техническая характеристика стана СП4В

Тип	четырёхвалковый реверсивный
Номинальный диаметр валков, мм	400
Частота вращения валков (5 скоростей), об / мин	8,08...63,05
Привод, тип	4A132S6Y3
Мощность, кВт	5,5
Частота вращения ротора, об / мин	970
Габариты, мм	
длина	2050
ширина	1050
высота	1380
Масса, кг	1360

Контакт между сопрягаемыми фасками обеспечивает самоустановку валков-дисков в осевом направлении. Для этого при введении в калибр настроечного прутка необходимо валки сместить в радиальном направлении до контакта с этим прутком. Смещение валков в радиальном направлении обеспечивается поворотом втулок-подшипников, цилиндрические посадочные поверхности которых выполнены с эксцентриситетом 1,5 мм. Поворот втулок осуществляется после освобождения их от стопорного болта специальным ключом через прорези (шлицы) в торце ступицы.

Плиты 1 (рис. 3) имеют центровое отверстие, в которое устанавливаются либо направляющие втулки 12, либо кассета 13 с четырьмя направляющими планками, положение которых регулируется по настроечному прутку. Прокатываемый пруток через направляющую втулку или кассету подается в валки-диски и выходит из них через направляющие втулки или кассеты. Их соосность с образующим валками-дисками калибром обязательна.

Одним из параметров, определяющих технологические возможности прокатного стана СП4В, является диаметр бочки валков. С увеличением диаметра бочки валков, при всех прочих равных условиях, возрастает длина дуги захвата, а следовательно, поверхность контакта прокатываемой заготовки с валками и действующие на них усилие и крутящий момент привода валков. С другой стороны увеличение длины дуги захвата увеличивает глубину проработки высокой заготовки при сравнительно малых ее обжатиях. Исходя из этих соображений в разработанной конструкции принят номинальный диаметр валков $D_n = 400$ мм. При планируемой холодной

прокатке прутков с обжатием за проход в среднем равным $\Delta h = 2$ мм угол захвата по наименьшему катающему радиусу, равному $R_m = 189 \dots 190$ мм, составляет $\alpha_m = 5,9^\circ = 0,103$ рад, а длина дуги захвата – $l_d = \alpha_m R_m = 19,56$ мм. При средней высоте прокатываемой заготовки $h_{cp} = 20 \dots 30$ мм отношение $l / h_{cp} = 19,56 / (20 \dots 30) \approx 1 \dots 0,65$, что согласно известным работам Н.А. Соболевского, С.И. Губкина, Т.М. Голубева, А.П. Чекмарева и др., позволяет «деформации сжатия» распространяться по всей высоте сечения прокатываемой заготовки [2]. Это является одним из условий получения качественных, без внутренних дефектов, непрерывно-литых заготовок.

Расчет систем многовалковых калибров основан на соотношениях профиля вписанной фигуры исходной заготовки большего сечения в образованный валками калибр меньшего сечения при исключении образования заусенцев. Это предопределяет многопроходность прокатки с неполным заполнением калибра на первых проходах и подачу в чистовой калибр заготовок, вписываемых в сечение захвата полости калибра.

Для прокатки в двух валках прутков круглого сечения используют систему, содержащую не менее двух калибров при ограниченных обжатиях за проход. На первом проходе формируется овальный, квадратный или ромбический профиль, на втором после кантовки заготовок – круглое сечение. При этом обжатие и уширение заготовок должны обеспечить на последнем проходе заполнение калибра без образования заусенцев. Поскольку в настоящей работе поставлена задача получения круглого профиля из непрерывно-литых заготовок круглого сечения в одном калибре, то есть с использованием стана с одной валковой кассетой, проведены исследования возможностей прокатки по системе круг-круг в четырех валковом калибре.

Рассмотрено три варианта калибровки «круг-круг» [3, 4].

Первый вариант калибровки. Рабочие поверхности калибра полностью соответствуют профилю и размерам сечения (диаметру d_n) прокатанных прутков, то есть профиль калибра – окружность диаметром d_n . Рабочий образующий калибр профиля валка-диска представляет дугу радиусом $0,5d_n$, соответствующую 90° . При этом, как видно из рисунка 4, а, заготовка диаметром $d_s > d_n$ не вписывается в калибр.

В начале захвата образованные пересечением рабочей поверхности и фасками (угловыми сопряжениями валков-дисков) острые кромки, радиус которых R_k , врезаются в заготовку и на угле поворота $\Delta\alpha_1 = \alpha_k - \alpha_m$ до полного контакта валков-дисков с заготовкой с наименьшим катающим радиусом R_m отсекают части внеконтактных областей F_1 . Поскольку до полного контакта рабочей поверхности валков-дисков с заготовкой на угле поворота $\Delta\alpha_1$ восемь очагов деформации заготовки локальные и не охватывают все ее сечение, вытяжка заготовки не существенна. Отсекаемые при этом острыми кромками части металла в дальнейшем образуют заусенцы, препятствующие смыканию валков-дисков по фаскам. Это обуславливает значительный рост усилий на валки-диски и, вследствие упругой деформации валковой кассеты, их упругое отжатие с увеличением диаметра прокатанных прутков. Полученные в таком калибре прутки с заусенцами требовали дополнительной обработки — скальпирования-протягивания на цепном волочильном стане через твердосплавную матрицу.

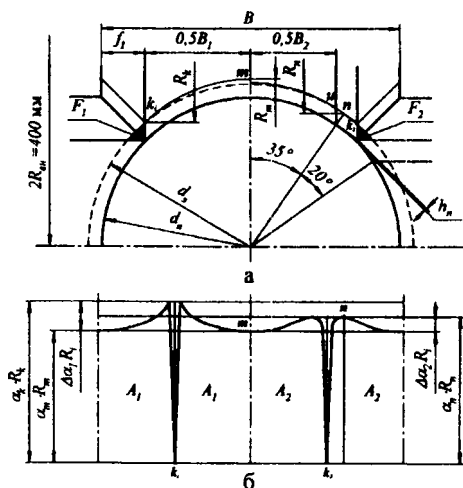


Рисунок 4 – Схема калибровок «круг-круг» (а) и поверхности контакта валков с заготовкой (б) в четырехвалковом калибре

Анализ приведенных в левой части рисунка 4, а калибра и исходной заготовки (пунктирная окружность) обуславливают кон-

тактную с валками-дисками поверхность A_1 (без учета упругого отжатия валков). Как видно из рисунка 4, б, рабочая поверхность валков-дисков входит в контакт с заготовкой на угле поворота $\Delta\alpha_1$, внеконтактные области между острыми кромками с наибольшим катающим радиусом R_k хотя и уменьшаются, но сохраняются на всей дуге $\alpha_k R_k$. Образующийся в начале захвата при угле поворота $\Delta\alpha_1$ заусенец, как показали результаты экспериментов холодной прокатки прутков латуни с диаметра $d_3 = 24$ мм в калибре $d_n = 22$ мм, не позволяет сомкнуться поверхностям контакта A_1 на величину 0,3...0,5 мм. В этом случае используют больший и меньший катающие радиусы $R_{k1} = 192$ мм, $R_m = 189$ мм при соответствующих им углах захвата $\alpha_{k1} = 6,82^\circ$, $\alpha_m = 5,9^\circ$ и $\Delta\alpha_1 = 0,92^\circ$.

Второй вариант калибровки. Для уменьшения начального угла поворота валков-дисков до полного контакта их рабочих поверхностей с заготовкой, а следовательно, и отсекаемого в заусенец металла, конфигурацию калибра выполнили составной из дуги радиусом $0,5d_n$, соответствующей углу 35° , и сопрягаемых с ней двух прямых, каждая из которых соответствовала углу 10° (рис. 4, б).

Это обеспечило увеличение расстояния между острыми кромками валков-дисков и образование их начального контакта с заготовкой по коническим поверхностям в точках n с начальным катающим радиусом $R_n = 191,4$ мм и углом захвата $\alpha_n = 6,5^\circ$. При этом угол поворота валков-дисков до полного контакта с поверхностью калибра составил $\Delta\alpha_2 = \alpha_n - \alpha_m = 0,6^\circ$. Выдавливаемый в радиальном направлении во внеконтактную между валками-дисками область металл образовывал выступ высотой 0,16...0,17 мм. Поверхность контакта валков с заготовкой при этом имела вид A_2 , приведенный в правой части рисунка 4, б.

Проведенные эксперименты холодной прокатки прутка диаметром 24 и 25 мм показали, что за один проход получают прутки диаметром соответственно 22,4 и 22,7 мм. При этом прутки диаметром 22,7 мм имели не только выступы высотой $\sim 0,17$ мм, но и тонкие ($\sim 0,2$ – $0,3$ мм) заусенцы. Очевидно, что это связано с упругой деформацией валковой кассеты – под действием распирающих валков сил P_b игра валков составила 0,4–0,7 мм.

При обжатии с диаметра $d_3 = 24$ мм до 22 мм, то есть на 15,97%, действующее на валки-диски усилие $P_b = k \sigma_s F = 280$ кН (где

$\sigma_s = 470$ МПа), коэффициент упрочнения $k = 1,6$ и проекция площади контакта на направление прокатки $F = 317$ мм². Величину упругого отжатия валков определили расчетом прогиба двух-опорных с защемленными концами балок кассеты. В расчетах приняты равножесткие балки с рассчитанным моментом инерции сечения $J = 144,7$ см⁴. Прогиб двух балок, в которых посажены опорные подшипники валков-дисков, составил $f = P l^3 / 192 E J = 0,1835$ мм, что обуславливает игру валков 0,287 мм. Разница расчетного прогиба и реального упругого расжатия валков-дисков ($\sim 0,4$ мм) обусловлена упрощенностью условий расчета и неучтенной упругой деформацией валков и воспринимающих нагрузку трех поверхностей сопрягаемых деталей. Результаты проведенных экспериментов прокатки и расчетов показали необходимость корректировки размеров калибра на величину упругого отжатия (игры) валков.

Третий, окончательный вариант калибра отличается от второго тем, что наибольший катающий радиус R_k уменьшается на величину 0,2 мм (рис. 5) за счет подрезания центрирующих фасок валков-дисков на величину $0,2 \sin 45^\circ = 0,14$ мм.

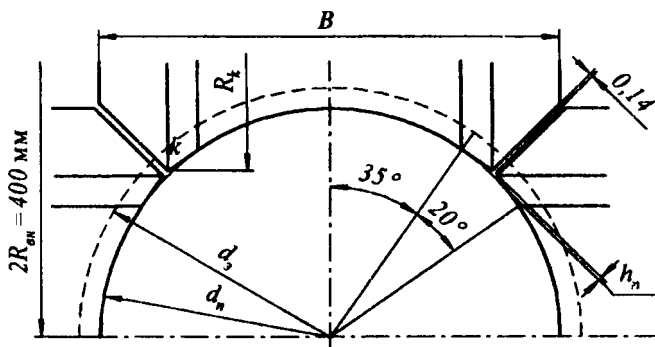


Рисунок 5 – Схема калибровки «круг-круг» с подрезанием фасок

Результаты описанных экспериментов прокатки литых прутков показали, что выполнение калибров по третьему варианту при обжатиях за один проход, не превышающих 18–20%, позволяет получать по схеме «круг-круг» круглые прутки.

Использование стана СП4В для обжатия непрерывно-литых прутков позволило исключить при их обработке операцию скальпи-

рования, с уменьшением отходов в виде тонкой стружки на 7–16 % их массы. Кроме того, обжатие литых заготовок обеспечило формирование в них мелкозернистую структуру с повышением их твердости с 90–95 до 110–150 HB в зависимости от температуры прокатываемых заготовок.

Литература

1. Прокатка малопластичных металлов с многосторонним обжатием / Л. А. Барков [и др.]. – Челябинск: Металлургия, 1988. – 304 с.
2. **Губкин, С. И.** Теория обработки металлов давлением / С. И. Губкин. – М.: Металлургиздат, 1947. – 531 с.
3. **Ложечников, Е. Б.** Прокатка непрерывно-литых прутков латуни в четырехвалковом калибре / Е.Б. Ложечников, М. В. Кудин // Прогрессивные технологии обработки материалов давлением: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Минск: Технопринт, 2004. – С.70 – 81.
4. **Обработка** непрерывно-литых прутков латуни прокаткой с многосторонним обжатием / Е.Б. Ложечников [и др.] // Материалы, технологии, инструменты. – 2005 – №1. – С. 81 – 83.

УДК 621.77.016

А.Н. ДАВИДОВИЧ, канд. техн. наук,
В.В. ИВАШКО, канд. техн. наук (ФТИ НАН Беларуси),
Л.М. ДАВИДОВИЧ, канд. техн. наук (БНТУ),
В.А. ДАВИДОВИЧ (ГКНТ Республики Беларусь)

УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ

Проведенными ранее исследованиями установлено, что лучшие импортные и стечественные рабочие детали сельскохозяйственной техники имеют дифференцированное распределение механических свойств и структуры по сечению изделия. Для наибольшей износостойкости при абразивном воздействии поверхность имеет наивысшую твердость, а для сопротивления ударным нагрузкам сердцевина